

# Dossier contrôle du roulis

## Fusée Alpha Rocket - Electrolab

Pages dédiées au projet sur le wiki de l'Electrolab :

<http://wiki.electrolab.fr/Projets:Perso:2013:AlphaRocket>

## Chapitre 1 : Généralités

### 1. Présentation du club

**Laboratoire, makerspace, atelier, grand garage collectif**, ces termes nous décrivent tous un peu sans toutefois parvenir à être exacts ou exhaustifs. L'Electrolab, c'est avant tout une association à but non lucratif dont l'objet est le partage des connaissances dans le domaine des sciences et des techniques. C'est une communauté de passionnés qui se sont retroussé les manches pour faire leur petit coin de paradis électrique, mécanique, chimique et biologique : un terrain de jeu de 1500m<sup>2</sup> dont on rêvait tous !

### 2. Présentation de l'équipe

6 membres actifs, qui se sont rencontrés à l'Electrolab :

Nicolas Chuecos

Zakaria ElQotbi

Damien Hartmann

Antoine Jeandet

Mohcine Najm

Vivien Tranier

Tous partagent une passion pour l'espace et une envie d'apprendre et de bricoler !

Antoine est étudiant, les autres sont salariés.

### 3. Caractéristiques principales du projet

La charge utile est composée de quatre éléments : le système de trajectométrie, le système de communication temps réel, le système de contrôle du roulis et le système de prise de vue.

### 4. Financement & partenaires

Financement par les membres de l'équipe.

### 5. Planification

Nous en sommes à la deuxième année du projet, n'ayant pas réussi à être prêts à temps pour un lancement en été 2016.

# Chapitre 2 : Structure mécanique

## 1. Généralités

Longueur : 2100 mm

Diamètre : 100 mm

Matériaux principaux : Aluminium, plexiglas, PLA

## 2. Structure de la fusée

Structure robuste supportée par un tube principal d'aluminium chapeauté par une section en plexiglas transparent et une ogive imprimée en PLA.

La partie aluminium est scindée en deux parties. La partie inférieure est consacrée à la propulsion et à la récupération, la partie supérieure au contrôle actif de roulis.

La partie en plexiglas transparent est consacrée à l'expérience vidéo de captation panoramique par anamorphose conique.

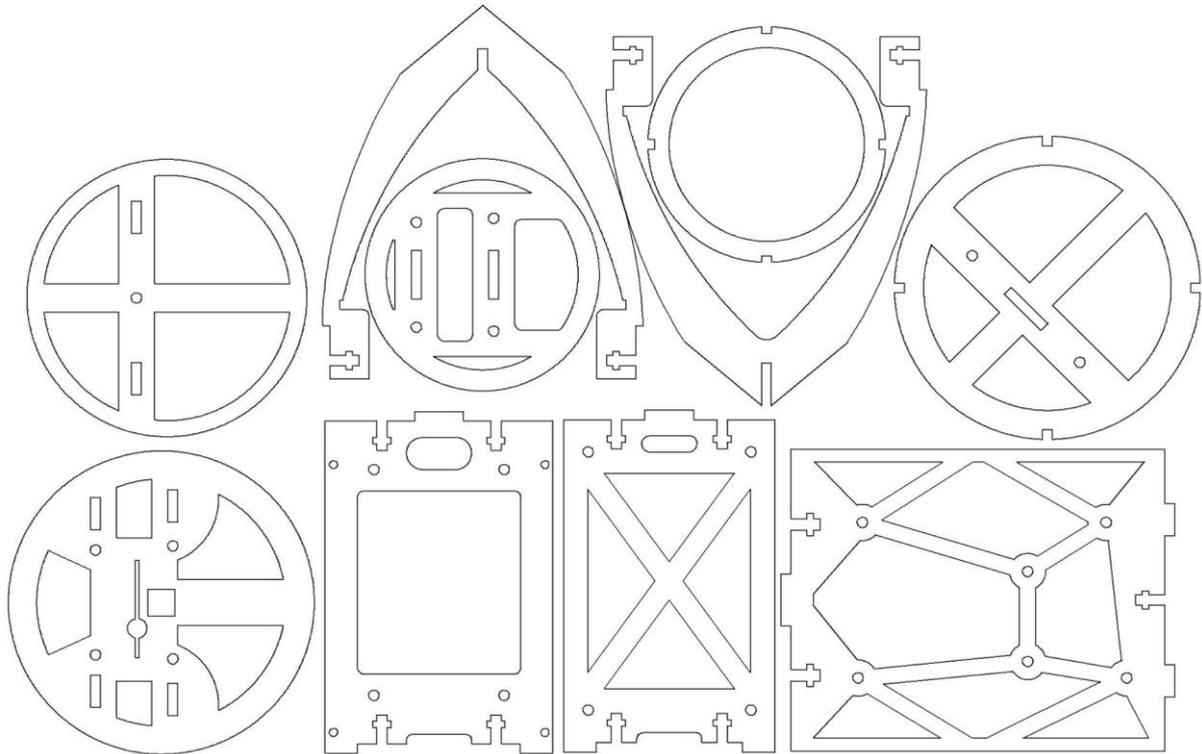
Ces 3 sections sont solidarisiées à l'aide de 2 raccords usinés en aluminium.

Le propulseur est maintenu coaxial à la fusée par 2 anneaux imprimés 3D. La reprise de poussée s'effectue via une bague usinée en aluminium.

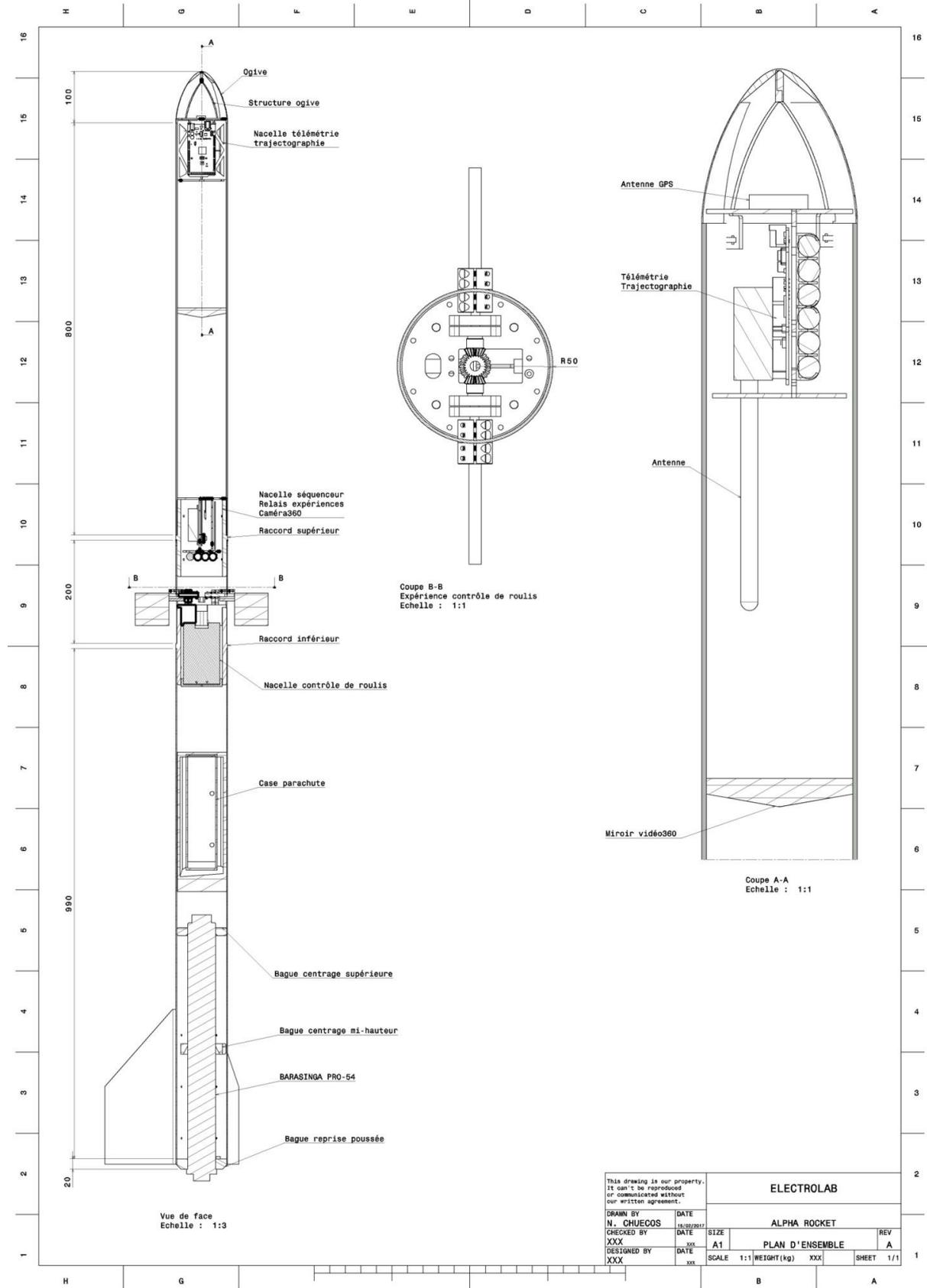


La coiffe est imprimée 3D en épaisseur 0,8mm soutenu par une structure découpée laser et vissée au tube.

Les nacelles électronique sont également découpées laser selon le patron suivant :



Le plan d'ensemble suivant propose un aperçu de la structure mécanique complète.



This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		<b>ELECTROLAB</b>	
DRAWN BY <b>N. CHUECOS</b>	DATE 16/09/2011	<b>ALPHA ROCKET</b>	
CHECKED BY <b>XXX</b>	DATE XXX	SIZE <b>A1</b>	REV <b>A</b>
DESIGNED BY <b>XXX</b>	DATE XXX	<b>PLAN D'ENSEMBLE</b>	
SCALE 1:1		WEIGHT (kg) XXX	SHEET 1/1

# Chapitre 3 : Systèmes de récupération

## 1. Parachute :

Nous prévoyons d'utiliser un parachute hexagonal.

Sa surface est de 0,90m<sup>2</sup>. Compte tenu du poids de la fusée, sa vitesse de descente devrait être de 12,6m/s.

Nous avons choisi un parachute en toile de spi orange, pour faciliter le repérage lors de la phase de récupération, comme indiqué dans le cahier des charges de Planète Sciences.

Un buzzer a été ajouté (AI-4228-TWT-R, datasheet jointe), pour faciliter la recherche de la fusée après atterrissage.

## 2. Séquenceur principal :

Nous avons donc choisi finalement de partir sur un système basé sur [un LM324](#) largement éprouvé par des Fusex dans le cadre du C'Space.

Le PCB ainsi que la soudure des composants ont été réalisés à l'Electrolab.

L'ouverture de la porte d'éjection du parachute initialement prévue utilisait une Serrure à solénoïde SL5524, qui retenait la porte via une encoche. Cette serrure avait été sélectionnée après le test de plusieurs solénoïdes à cause de son ressort intégré permettant le retour en position de verrouillage lorsqu'elle était au repos. Il s'est néanmoins avéré que la force transversale appliquée par le parachute sur la porte et transmise à la gâchette empêchait le solénoïde de tirer, ce dernier ne disposant pas d'assez de couple.

Nous avons alors modifié le système de retenue de la porte par un électroaimant, positionné horizontalement par rapport à l'axe de la fusée. La case éjectable est posée sur un large ressort, fixé au support de case éjectable intégré au tube.

Nous avons d'abord essayé de positionner l'électroaimant verticalement, mais la force d'adhérence magnétique en cisaillement n'était pas suffisante pour retenir la porte.

# Chapitre 4 : Système de télémétrie

La communication entre la fusée et le sol est faite à l'aide d'un couple de carte transceiver 'Lora gps shield'.

Un arduino Mega 2560 fabrique les trames à partir des données fournies par la central inertiel.

Le système de télémétrie est alimenté par sa propre batterie.

# 5. Trajectométrie

Le système de trajectométrie se compose d'un ensemble de capteur, d'un système de sauvegarde embarqué dans la fusée et d'un système de traitement des données au sol.

La trajectométrie est réalisé à partir de l'agrégation des données issuent d'une central inertiel 'IMU 10DOF - MPU9250 + MS5611' et d'un récepteur GPS.

La central inertiel se compose des éléments suivant:

- Accéléromètre 3 axes
- Magnétomètre 3 axes
- Gyroscopes 3 axes
- Altimètre barométrique.

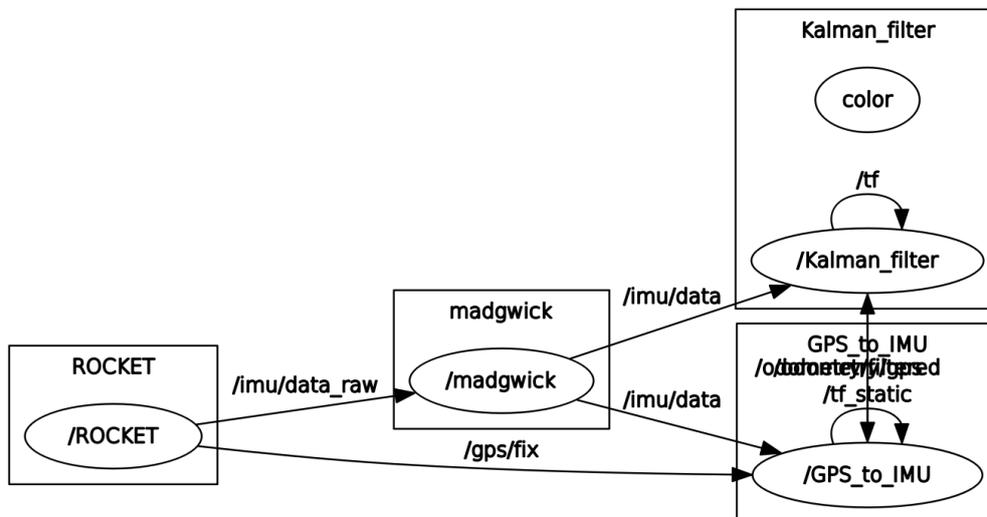
La partie embarquée de la trajectométrie partage son alimentation avec le système de télémétrie.

Une sauvegarde de l'ensemble des données des capteurs est faite sur une carte SD embarqué dans la fusée.

Au **sol**, les trames de télémétrie sont traités pour fournir des données exploitables.

Ce traitement se compose d'un ensemble de filtres qui communiquent au sein de l'ensemble 'Robot Operating System' et donne la position angulaire et géographique de la fusée.

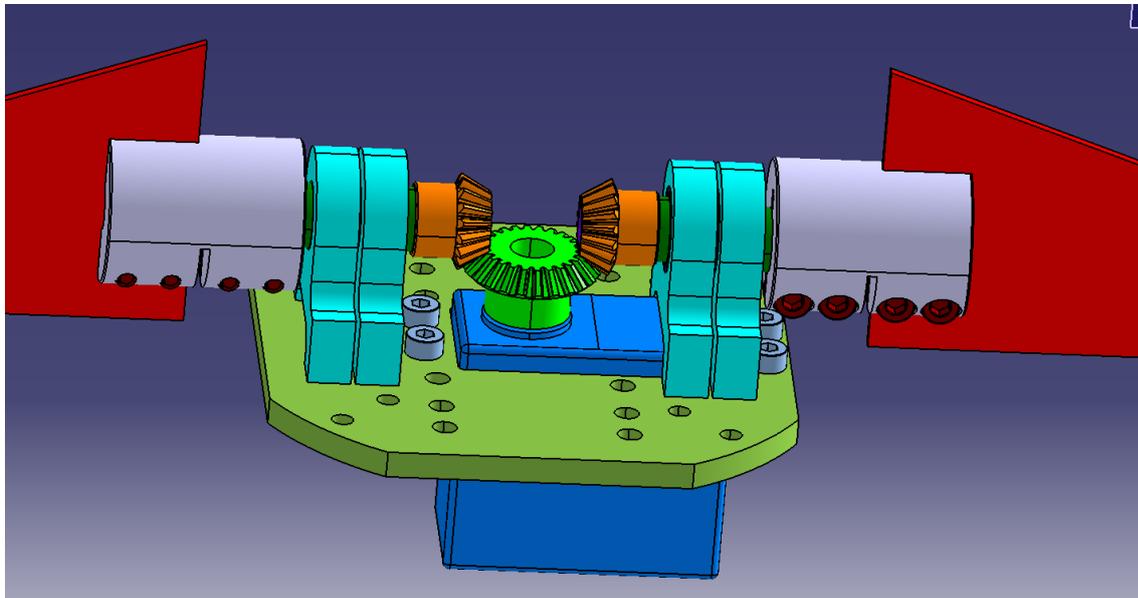
- Un filtre de madgwick afin d'obtenir la position angulaire.
- Un filtre de Kalman afin de réduire l'incertitude des mesures et compenser les dérives de chaques capteurs



## 6. Système de contrôle de roulis

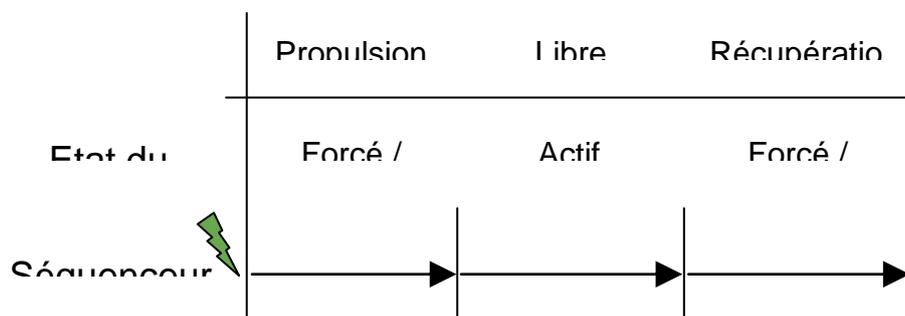
### 1. Vue générale

Le système repose sur deux ailettes diamétralement opposées, actionnées par un unique servo-moteur. Cette configuration ne permet que de générer un couple autour de l'axe de la fusée.



Modélisation 3D du système

Un circuit non programmable impose aux ailettes de se maintenir au neutre pendant la phase de propulsion, puis autorise le circuit programmable à actionner les ailettes pour contrôler le roulis pendant un instant  $T$  limité et, enfin impose à nouveau le neutre de manière définitive avant le déclenchement du parachute.



⚡ Arrachage du Jack

- A l'arrachage du jack au décollage, on déclenche un premier timer  $T1$  qui expire au bout de  $x$  secondes la durée pendant laquelle les ailettes seront forcées au neutre.
- Après expiration de  $T1$ , le roulis est actif et on démarre un deuxième timer  $T2$ .
- A l'issue de  $T2$ , retour au neutre.

D'après le Cahier des Propulseurs, chapitre relatif aux Propulseurs Pro54, le temps de combustion est 4.67 secondes.

La valeur de  $T1$  sera fixée alors sur cette valeur qui correspond aussi à la période de propulsion.

$$T1 = 4.67s$$

La valeur de  $T2$  par contre dépend de la trajectoire théorique de la fusée calculée avec *StabTraj*. Et elle sera fixée sur la période de l'arrêt de propulsion jusqu'à l'instant de l'apogée de la fusée ( $T_{ap}$ )

T2 = Tap - T1  
 T2 = 16.5 - 4.67  
 T2 = 9.83s

## 2. Dimensionnement mécanique

### 2.1. Couple maximale généré

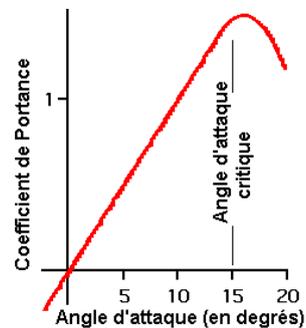
Le couple maximal est généré quand la fusée est à sa vitesse maximale et quand les ailettes sont à leur angle d'incidence maximal. On peut l'évaluer comme suit :

$$P = C_z \times \frac{1}{2} \rho V^2 \times S$$

**Avec :** **P** : valeur de la portance en N (Newtons)  
**Cz** : coefficient de portance -sans échelle-  
**ρ** : masse volumique du fluide en kg/m<sup>3</sup>  
**V** : vitesse relative en m/s  
**S** : surface projetée à l'horizontale en m<sup>2</sup>

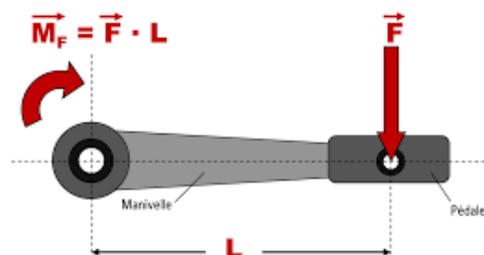
La portance maximale dépend donc de la surface des ailettes projetée en fonction de l'incidence maximale.

Si l'on choisit une section d'aile de type profilé il est admis que le coefficient de portance est proportionnelle à l'angle d'incidence et que le maximum est atteint autour de 15°.



La relation entre portance et couple généré par les ailettes est simplement :  $M = F \times L$

Avec F la portance et L la distance entre le centre de la fusée et le centre de poussée des ailettes.

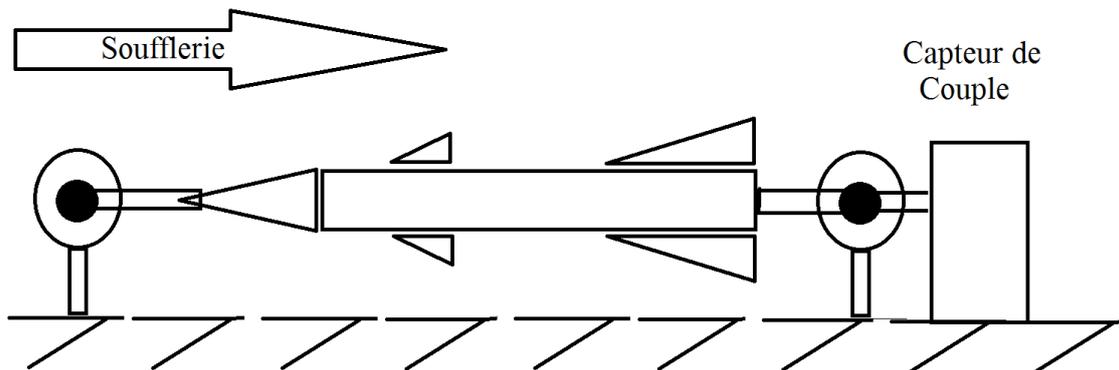


Pour déterminer le couple maximal, il suffit de déterminer le coefficient de portance en fonction de l'incidence. La portance étant proportionnel au carré de la vitesse, il serait possible de résoudre l'équation en mesurant la portance (ie le couple qui est proportionnel) à une vitesse donnée ( et même relativement inférieur à la vitesse maximale atteignable par la fusée) pour une section donnée à l'angle d'incidence de 15°.

### 2.2. Protocole expérimental :

On peut utiliser un souffleur de jardinage pour générer un vent de 400km/h on peut alors évaluer le couple généré à plusieurs angle incidence et déterminer le coefficient de portance pour une hypothèse de

dimensions d'ailette donnée. On pourra alors de manière itérative ajuster les ailettes pour générer le couple adéquat pour notre asservissement et s'assurer que le dimensionnement du servo-moteur est correct à un coefficient de sécurité près.



Synopsis banc de test

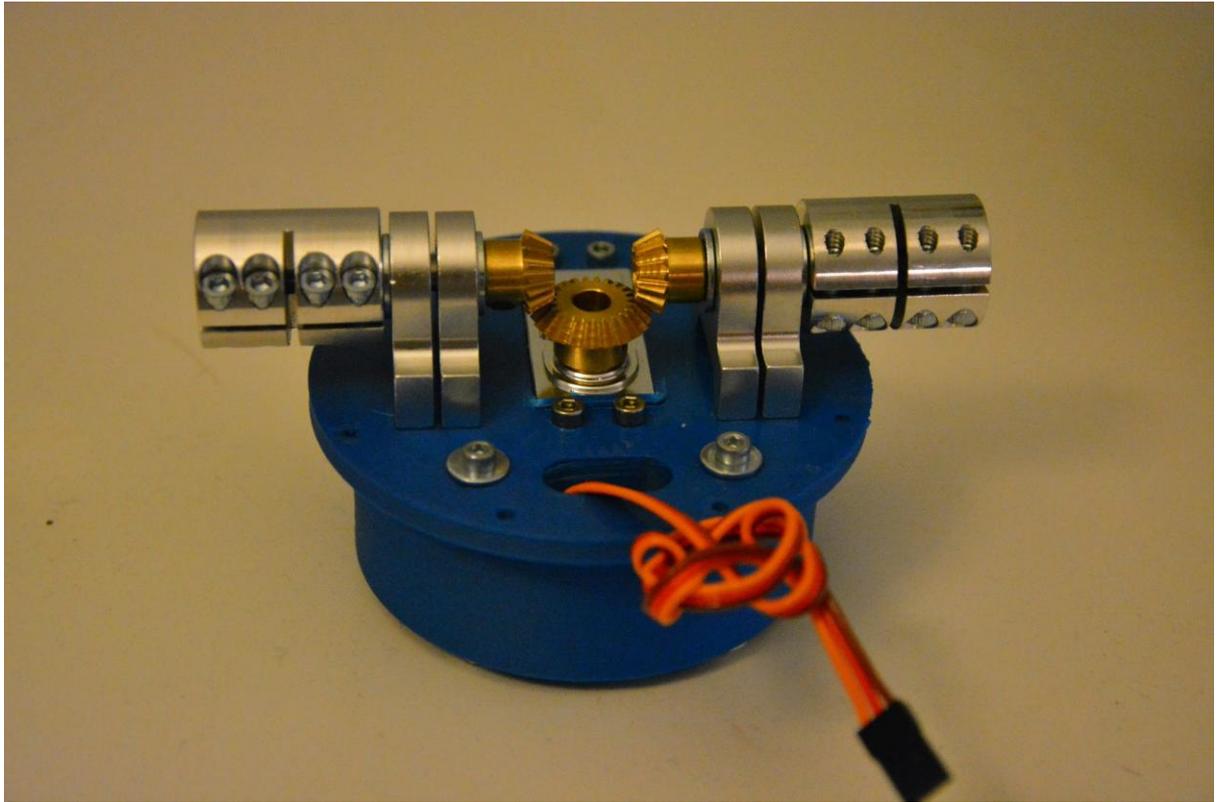
Pour les hypothèses de départ, obtenues par veille sur les autres projets sur le net :

Vitesse maxi = 800 km/h = 222m.s-1- Coefficient de portance 0.04- Masse volumique de l'air 1,292Kg/m3

<p>Servo-moteur :</p> <p>Couple maxi généré = 0,36N.m-1</p> <p>Choix du moteur KST-725MG</p> <p>Couple maxi moteur seul = 1.75N.m-1</p> <p>Couple maxi = 0.875N.m-1 avec réducteur de 2</p>	<p>Ailettes :</p> <p>Type = profilé</p> <p>Surface = 35cm<sup>2</sup> = 0.0035m<sup>2</sup></p>
---	---

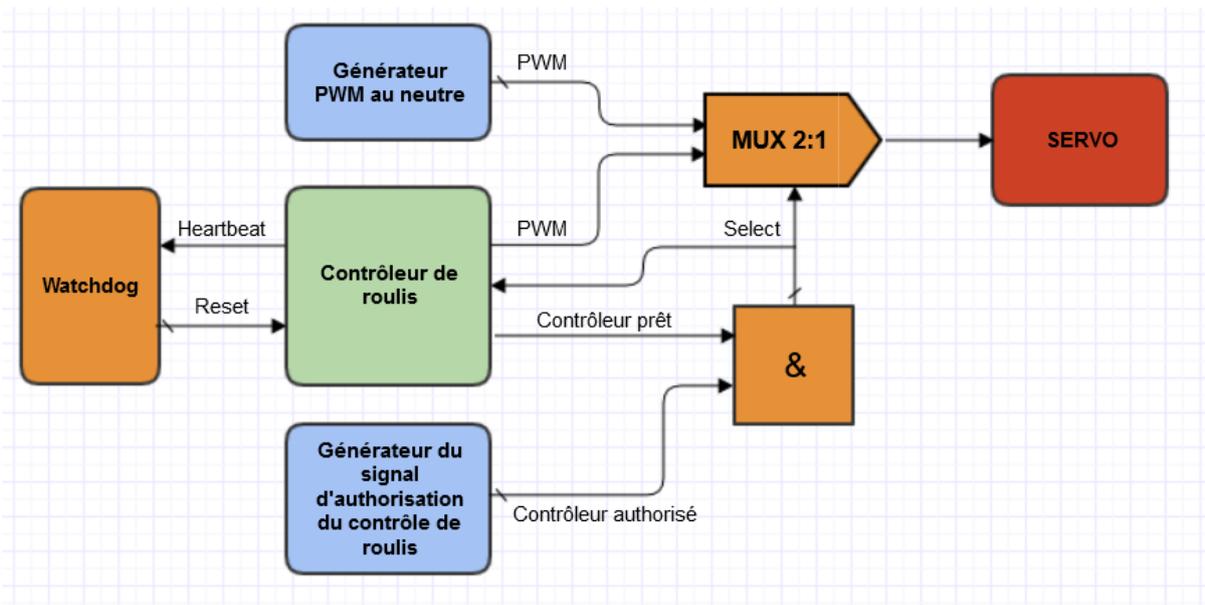
### 2.3. Choix de construction :

Un choix de construction très robuste pour le système de transformation de mouvement s'impose. Les axes sont en acier de 6.35mm de diamètre avec deux palier de roulement pour chaque axe ce qui permet d'absorber un important effort radial surtout grâce à la très courte longueur des axes < 50mm. Les pignons sont en laiton et enfin on utilise des coupleurs de fort diamètre en aluminium muni de pinces à double vis pour accoupler les ailettes aux axes.



Système assemblé

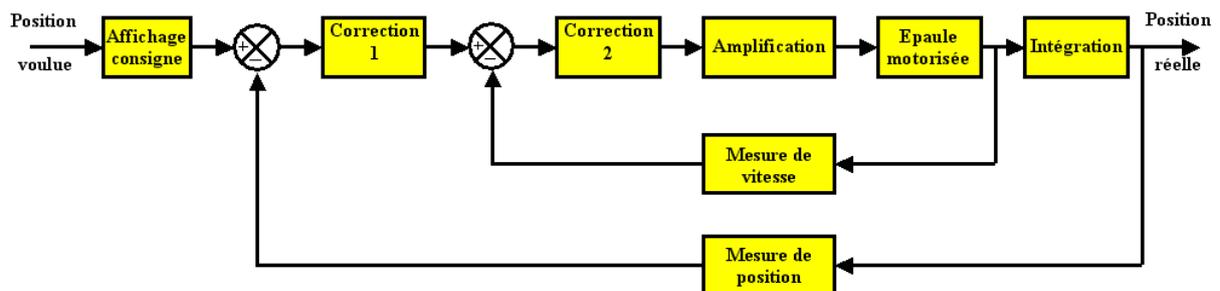
### 3. Electronique embarquée



Synopsis général

#### 3.1 Contrôleur de roulis

Le contrôleur de roulis est basé sur un microcontrôleur et un gyroscope faible bruit. Une double boucle d'asservissement en position et vitesse est implémentée sur le modèle d'une contrôleur PI :

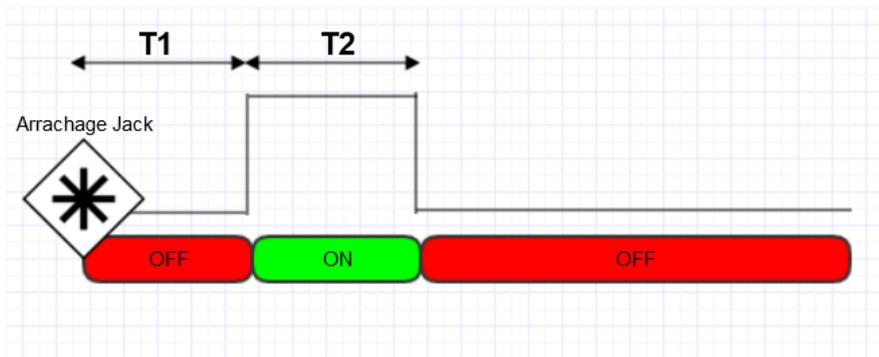


#### 3.2 Générateur Pwm au neutre

Le générateur de Pwm au neutre, génère sans aucun composant programmable un signal de commande pour la mise au neutre des servomoteur. Ce signal positionne le servomoteur au milieu de sa course. Les ailettes sont réglées pour ne générer aucun couple à cette position, elle sont alors dans le plan longitudinale de la fusée.

#### 3.3 Générateur du signal d'autorisation du contrôleur de roulis.

Le générateur du signal d'autorisation du contrôleur désactive pendant T1 après le décollage (Arrachage Jack) puis active le contrôleur pendant T2



### 3.4 Synthèse de la commande du Servomoteur et mise en sécurité

La synthèse se fait grâce à un multiplexeur qui permet soit de forcer le Servomoteur au neutre soit de le piloter avec la sortie du contrôleur de roulis. Ce multiplexeur force toujours au neutre sauf si le contrôleur de roulis est autorisé et qu'il est prêt.

En effet le contrôleur ne positionne le signal "Contrôleur prêt" que si son initialisation est terminée et qu'il n'y a aucune erreur interne. Dans le cas d'une erreur interne provoquant un plantage, le contrôleur est reseté grâce à un watchdog externe. le signal "Contrôleur prêt" est alors immédiatement désactivé grâce à un tirage par une résistance de pullup, les sorties étant toute en haute impédance après un reset.

### 3.5 Indicateurs lumineux

Pour simplifier les tests les signaux suivant sont reportés grâce à des leds de couleurs différentes :

- Présence de tension
- Contrôleur de roulis autorisé
- Contrôleur de roulis prêt
- Contrôleur de roulis en erreur

## 4. Analyse de risque

Les risques sont les suivants :

#### 4.1. Casse mécanique au niveau du système de transformation de mouvement

Probabilité : extrêmement improbable vu le sur-dimensionnement très important.

Conséquence : impossible de commander les ailettes ou détachement des ailettes.

Mitigation : Aucune

#### 4.2. Panne mécanique ou électrique du servomoteur

Probabilité : très faible vu le sur-dimensionnement

Conséquence : impossible de commander les ailettes

Mitigation : Ajout de butées mécaniques pour les ailettes ce qui limitera leur courses.

#### 4.3. Plantage non supervisé du contrôleur de roulis.

Probabilité : faible

Conséquence : système d'asservissement inopérant

Mitigation : un watchdog interne permet de reseter le contrôleur, le système failsafe repositionnera les ailettes aux neutres si ça arrive pendant la phase commandée.

#### 4.4. Erreur interne du contrôleur de roulis.

Probabilité : faible

Conséquence : système d'asservissement inopérant

Mitigation : Le contrôleur de roulis sera programmé pour qu'en cas d'erreur interne, il libère sa ligne de commande et le système failsafe repositionnera les ailettes aux neutres si ça arrive pendant la phase commandée. Dans tous les cas, le système failsafe reprend la main en fin de phase commandé.

#### 4.5. Panne d'alimentation

Probabilité : très faible

Conséquence : ensemble électronique et servo-moteur inopérant

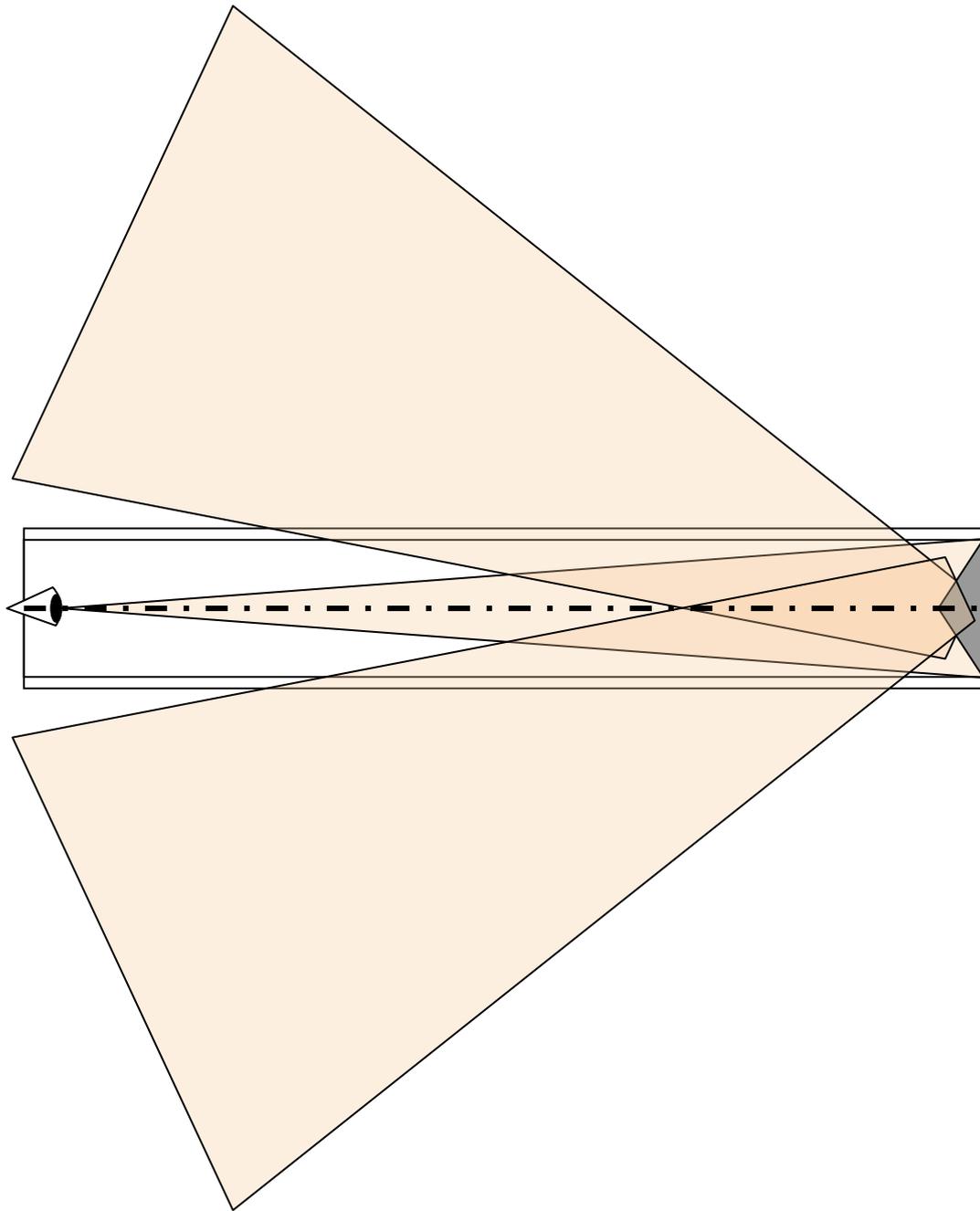
Mitigation : Redondance de batterie, Redondance de connectiques, utilisation de connectiques anti-vibrations.

## 7. Vidéo 360° anamorphique

Objectif : obtenir une captation vidéo 360° du vol de la fusée

Principe : Filmer un miroir conique dans l'axe de la fusée à travers une section transparente.

### 1. Angle du miroir



On cherche à filmer vers le bas plutôt qu'orthogonalement à l'axe de la fusée. On cherche l'angle optimal pour ne pas filmer l'intérieur de la fusée.

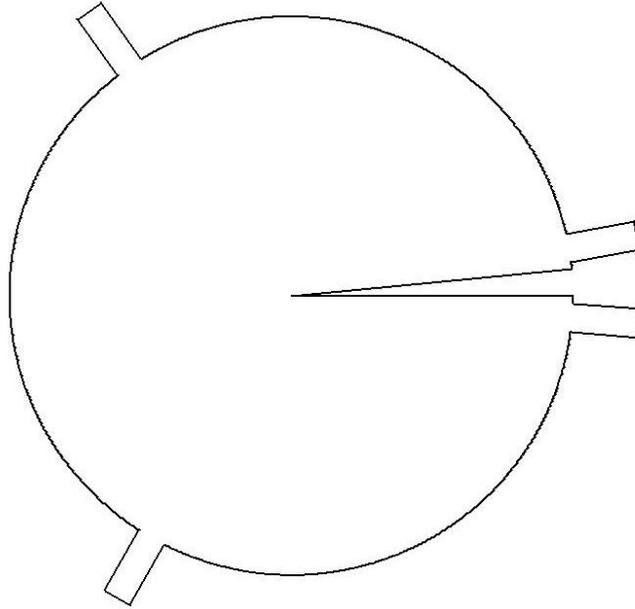
La distance OH est fixée à 300 mm en fonction du champ de vision de la caméra pour ajuster le miroir au cadre.

La distance OC est le rayon intérieur de la fusée, soit 49 mm.

On en déduit l'angle du miroir :  $10^\circ$ .

## 2. Réalisation :

Une feuille réfléchissante a été découpée selon le patron suivant afin d'obtenir l'angle de  $10^\circ$  une fois assemblé.



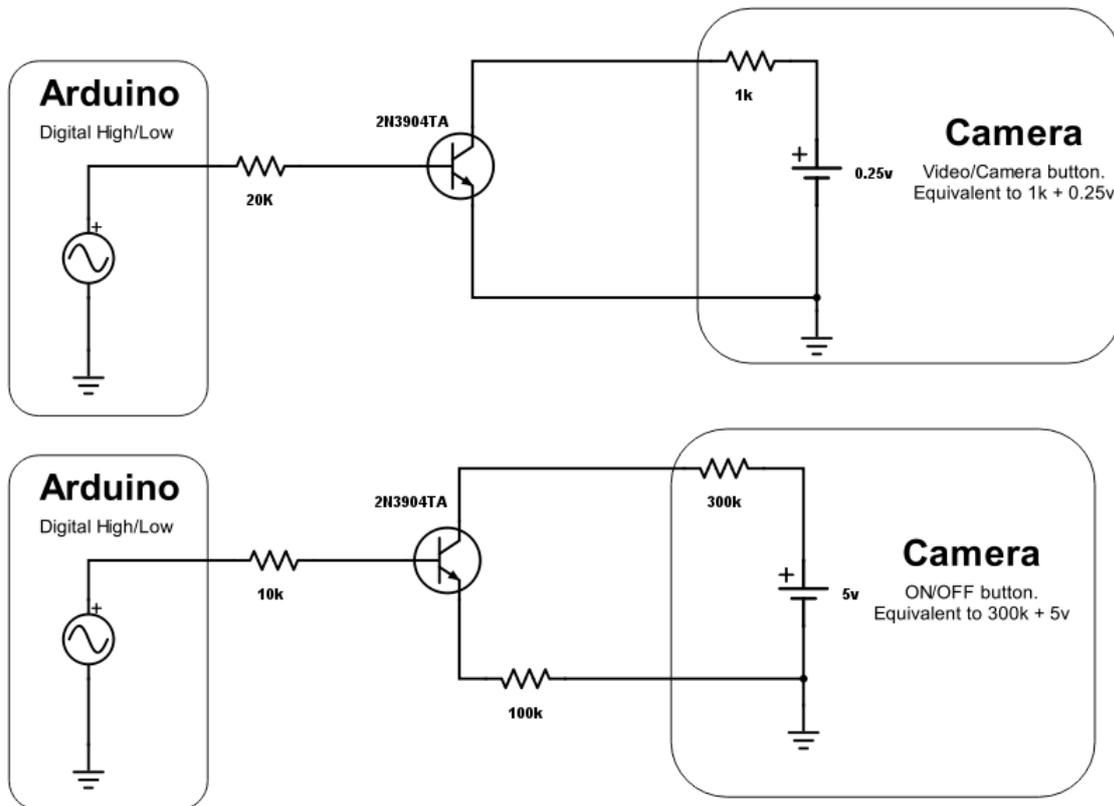
Un support a été imprimé 3D en PLA pour permettre de visser dans le tube.

Une tube transparent de PMMA de 800 mm de long et 100 mm de diamètre et 3 mm d'épaisseur a été choisi pour ses propriétés mécaniques et son index de réfraction raisonnable.

### **3. Automatisation**

Les boutons de la mini caméra ont été câblés à un arduino nano pour intégrer son déclenchement à la routine de la fusée selon le synopsis suivant :

- Mise en route avec l'interrupteur général des expériences de la fusée
- Début de captation immédiate
- Enregistrement de fichier toutes les 10 minutes



#### 4. Autonomie

Autonomie data : carte SD 8Go  $\Leftrightarrow$  2h40 d'enregistrement

Autonomie élec : 1h30

## Chapitre 5 : Test

Descriptifs des tests pour le contrôle

#### Test 1 :

- 1/ Alimenter le contrôleur de roulis
- 2/ Constater que l'indicateur de tension est allumé
- 3/ Attendre que l'indicateur du contrôleur de roulis Prêt s'allume.
- 3/ Vérifier que les ailettes sont en position neutre.
- 4/ Essayer de les bouger, et constater qu'elle sont bien asservi en position.

#### Test 2 :

- 1/ Préparer un chronomètre à zéro.
- 2/ Alimenter le contrôleur de roulis
- 3/ Constater que les indicateurs "Présence de tension" et "Contrôleur de roulis prêt" sont allumés.
- 4/ Arracher le Jack et démarrer immédiatement le chronomètre.
- 5/ Constater que la led "Contrôleur de roulis autorisé" s'allume au bout de T1
- 6/ Constater que la led "Contrôleur de roulis autorisé" s'éteint au bout de T2

#### Test 3 :

- 1/ Alimenter le contrôleur de roulis
- 2/ Constater que les indicateurs "Présence de tension" et "Contrôleur de roulis prêt" sont allumés.
- 3/ Constater que les ailettes sont forcées au neutre.
- 4/ Commencer à faire tourner la fusée autour de son axe.
- 5/ Constater que les ailettes sont toujours forcées au neutre.
- 6/ Arracher le jack et continuer de faire tourner la fusée.
- 7/ Constater que les ailettes se mettent à bouger dès que la led "Contrôleur de roulis autorisé" s'allume.
- 8/ Continuer de faire bouger la fusée et constater que les ailettes sont forcées au neutre.dès que le la led "Contrôleur de roulis autorisé" s'éteint.

## Chapitre 6 :Analyse après vol

Document d'analyse joint.



Analyse après vol  
(1).xlsx